

**PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI SALURAN TRANSMISI 150kV  
GARDU INDUK PALUR – MASARAN – SRAGEN  
TERHADAP *SETTING* RELE JARAK**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**SHABRI RIZAL RAHMAN**

**D400150072**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2019**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI SALURAN TRANSMISI 150kV  
GARDU INDUK PALUR – MASARAN – SRAGEN  
TERHADAP *SETTING* RELE JARAK**

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh:

**SHABRI RIZAL RAHMAN**

**D400150072**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing *acc 21/12-2018*



**Aris Budiman, S.T., M.T.**

**NIK. 885**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI SALURAN TRANSMISI 150kV  
GARDU INDUK PALUR – MASARAN – SRAGEN  
TERHADAP *SETTING* RELE JARAK**

**OLEH**  
**SHABRI RIZAL RAHMAN**  
**D400150072**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji**  
**Fakultas Teknik**  
**Universitas Muhammadiyah Surakarta**  
**Pada hari Kamis, 10 Januari 2019**  
**dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

- 1. Aris Budiman, S.T., M.T.**  
**(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Umar, S.T., M.T.**  
**(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Agus Ulinuha, S.T., M.T., Ph.D.**  
**(Anggota II Dewan Penguji)**

(.....)  
(.....)  
(.....)



**Dekan,**  
**H. Sri Sunariono, M.T., Ph.D.**  
**NIK. 682**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 21 Desember 2017

Penulis



SHABRI RIZAL RAHMAN

D400150072

# PENGARUH PERUBAHAN KONFIGURASI SALURAN TRANSMISI 150kV GARDU INDUK PALUR – MASARAN – SRAGEN TERHADAP *SETTING* RELE JARAK

## Abstrak

Ketergantungan masyarakat terhadap teknologi yang berkembang pesat membutuhkan pasokan sumber energi listrik yang semakin bertambah. Dalam prosesnya, energi listrik disalurkan dari pembangkit menuju ke beban melalui beberapa proses dan menempuh jarak yang jauh. Hal ini mengakibatkan saluran transmisi rentan mengalami gangguan, sehingga perlu adanya komponen proteksi. Rele jarak dipilih sebagai komponen proteksi karena kemampuannya menghilangkan gangguan secara cepat dan efektif. Wilayah kerja rele proteksi dibagi menjadi 2, yaitu 1 area dan 3 area. Penelitian ini dilakukan pada saluran transmisi gardu induk 150kV Palur-Masaran-Sragen yang mengalami perubahan konfigurasi saluran transmisi. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur, dan pengumpulan data pendukung. Berdasarkan data yang didapatkan, terdapat selisih nilai *setting* awal dengan hasil perhitungan yaitu area 2=0,38  $\Omega$ , area 3=0,72  $\Omega$  pada saluran transmisi Palur-Masaran dan area 1=0,01  $\Omega$  pada saluran transmisi Masaran-Sragen. Selisih tersebut terbilang kecil sehingga dapat disebutkan nilai *setting* yang diterapkan sudah sesuai dengan teori. Penentuan lokasi gangguan dengan beberapa uji coba nilai impedansi gangguan, contoh 0,5  $\Omega$  didapatkan letak gangguan pada 1,19 km saluran transmisi Palur-Masaran dan 1,2 km saluran transmisi Masaran-Sragen. Hal ini menunjukkan adanya kemiripan nilai *setting* rele antara 2 saluran transmisi yang berbeda.

**Kata Kunci:** area proteksi, perubahan konfigurasi, nilai *setting*, rele jarak.

## Abstrak

The dependency of people on rapidly developing technology requires an increasing supply of electricity. In the process, electrical energy is distributed from the generator to the load through several processes and over long distances. This causes the transmission line to be susceptible to interference, so it is necessary to have a protection component. Distance relay is selected as a protection component because of its ability to eliminate interference quickly and effectively. The protection relay work area is divided into 2, namely 1 area and 3 areas. This research was carried out on the transmission lines of the 150kV Palur-Masaran-Sragen substation which underwent a change in the configuration of the transmission line. The research began with conducting literature studies, and supporting data collection. Based on the data obtained, there is a difference in the value of the initial setting with the calculation results, namely area 2 = 0.38  $\Omega$ , area 3 = 0.72  $\Omega$  on the Palur-Masaran transmission line and area 1 = 0.01  $\Omega$  on the Masaran-Sragen transmission line. The difference is relatively small so it can be said that the setting value applied is in accordance with the theory. Determination of fault location with several value of impedance interference tests, for example 0.5  $\Omega$  obtained the location of the interference in the 1,19 km transmission line of Palur-Masaran and 1,2 km of the Masaran-Sragen transmission line. This shows the similarity in the value of relay settings between 2 different transmission line configurations.

**Keywords:** protection area, configuration change, setting value, distance relay.

## 1. PENDAHULUAN

Adanya ketergantungan masyarakat terhadap teknologi yang berkembang sangat pesat pada saat ini membutuhkan pasokan sumber daya energi yang besar. Sumber daya yang dimaksud tersebut merupakan *supply* utama peralatan teknologi masa kini, di mana hampir semua peralatan teknologi tersebut membutuhkan energi listrik. Energi listrik yang dibutuhkan bermacam tipe, dari energi listrik tegangan tinggi sampai energi listrik tegangan rendah.

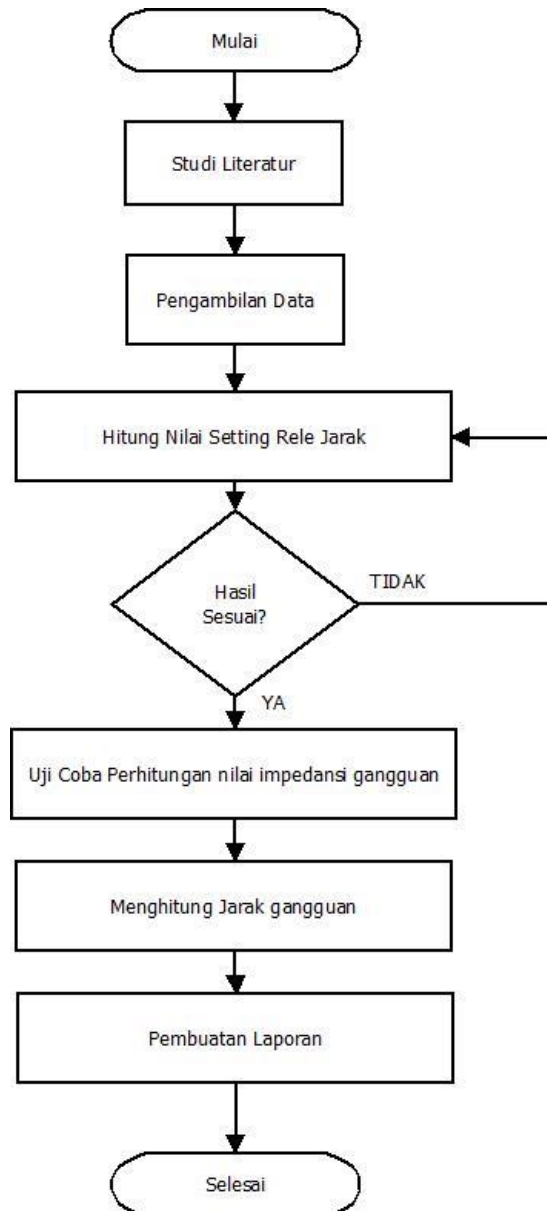
Energi listrik sendiri disalurkan dari pembangkit menuju ke pusat beban melalui Saluran Udara Tegangan Extra Tinggi (SUTET) yang berasal dari pembangkit sampai ke Gardu Induk Tegangan Extra Tinggi (GITET) dan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang berasal dari GITET sampai ke Gardu Induk 150kV. Saluran energi listrik ini biasa disebut dengan sistem transmisi tenaga listrik. Sistem transmisi adalah bagian terpenting dari penyaluran tenaga listrik karena merupakan sistem dinamis kompleks yang parameter-parameter dan keadaan sistemnya berubah secara terus menerus. Pada umumnya semua peralatan atau sistem energi listrik merupakan komponen penting, namun pada sistem transmisi tenaga listrik lebih rentan mengalami gangguan, entah dari kesalahan manusia maupun kejadian alam. Untuk mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem transmisi, maka pada sistem ini dilengkapi dengan pengaman atau proteksi. Pengaman yang umum digunakan pada sistem transmisi tenaga listrik adalah rele jarak (*distance relay*).

Rele jarak digunakan untuk pengaman pada saluran transmisi karena kemampuannya dalam menghilangkan gangguan (*fault clearing*) dengan cepat dan setting yang relatif mudah (Muh Safar, 2010). Prinsip kerja rele jarak adalah membandingkan nilai tegangan dan arus gangguan pada titik yang sama, sehingga didapatkan nilai impedansi gangguan (Izykowski, 2008). Hasil dari nilai impedansi tersebut nantinya akan dibandingkan dengan nilai impedansi yang terdapat pada setting rele jarak. Rele jarak akan bekerja ketika nilai impedansi gangguan lebih kecil dari nilai impedansi setting (Nugraha, 2010). Rele jarak diterapkan pada beberapa zona (area) pada suatu saluran transmisi agar bisa didapatkan pasangan pengaman utama dan pengamann cadangan sekaligus dalam satu rele jarak (Ojaghi, 2014).

Sistem transmisi 150kV gardu induk Palur-Sragen mengalami perubahan konfigurasi sistem transmisi menjadi sistem transmisi 150kV gardu induk Palur-Masaran dan sistem transmisi 150kV gardu induk Masaran-Sragen. Perubahan konfigurasi tersebut mengakibatkan adanya perubahan setting rele jarak, sehingga perlu adanya koordinasi ulang pada rele tersebut untuk mengetahui gangguan yang dapat terjadi dan mengetahui letak gangguan itu sendiri. Dengan adanya koordinasi ulang tersebut diharapkan setting rele jarak berfungsi secara optimal sesuai dengan teori.

## 2. METODE

Penelitian diawali dengan studi literatur mengenai objek penelitian, selanjutnya diperlukan data nyata dalam lapangan. Data ini didapatkan dari PT. PLN (Persero) APP Salatiga, Basecamp Surakarta, Gardu Induk 150kV Palur dan Gardu Induk 150kV Masaran. Data yang didapatkan dilakukan perhitungan menggunakan metode matematis berdasarkan langkah pengerjaan dari literatur terkait. Hasil dari perhitungan dibentuk menjadi sebuah simpulan. Berikut adalah alur penelitian dari awal penelitian hingga akhir :



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

Data yang diperoleh antara lain adalah :

- Single Line Diagram* transmisi Palur-Masaran dan Masaran-Sragen
- Data kabel penghantar, parameter trafo, dan sumber tenaga

- c. Rasio trafo arus (CT) dan rasio trafo tegangan (PT)
- d. Data nilai *setting* rele jarak transmisi Palur-Masaran dan Masaran-Sragen sesudah adanya perubahan konfigurasi

## 2.1 Klasifikasi Zona Proteksi Rele Jarak

Klasifikasi zona pada *setting* rele jarak di bagi menjadi 2 yaitu 1 zona untuk *setting* rele jarak pada panjang saluran 2 gardu induk dan 3 zona *setting* rele jarak, yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3 untuk panjang saluran 3 gardu induk. Standar acuan yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan buku Pedoman Pemeliharaan PT.PLN (PERSERO) tentang Proteksi dan Kontrol Penghantar. Standar yang digunakan ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Standar zona *setting* rele jarak

Zona	Standar <i>setting</i>
Zona 1	80 – 85 % dari panjang saluran
Zona 2	120 – 150 % dari panjang saluran
Zona 3	Seluruh panjang saluran (tidak melebihi 2 gardu induk)

### a. Zona 1

Zona 1 diklasifikasikan melindungi saluran transmisi sebesar 80-85% karena dianggap pengaman utama dan memiliki respon yang sangat cepat. Persamaan matematis pada zona 1 sebagai berikut :

$$Z_1 = 0,8 \times Z_{LI} \quad (1)$$

Dengan :

$Z_{LI}$  = Impedansi saluran transmisi Palur-Masaran pada rele jarak Gardu Induk 150kV Palur atau impedansi saluran transmisi Masaran-Sragen pada rele jarak Gardu Induk 150kV Masaran ( $\Omega$ )

$$Time\ delay = 0 \text{ detik}$$

### b. Zona 2

Zona 2 diklasifikasikan melindungi saluran transmisi sebesar 20% sisa zona 1 dan sekitar 20-50% untuk saluran berikutnya. Pada zona 2 memiliki respon yang sedikit lebih lambat dari zona 1, karena zona 2 difungsikan sebagai *backup zone*. Persamaan matematis pada zona 2 sebagai berikut :

$$Z_2 = 0,8 \times (Z_{LI} + (0,8 \times Z_{L2})) \quad (2)$$

Dengan :

$Z_{LI}$  = Impedansi saluran transmisi Palur-Masaran ( $\Omega$ )

$Z_{L2}$  = Impedansi saluran transmisi Masaran-Sragen ( $\Omega$ )

$$Time\ Delay = 0,4 \text{ detik}$$



c. Zona 3

Zona 3 diklasifikasikan melindungi sisa saluran transmisi yang tidak terlindungi zona sebelumnya sampai saluran berikutnya. Respon pada zona 3 merupakan yang terlama dengan fungsinya sebagai *full backup zone*. Persamaan matematis zona 3 sebagai berikut :

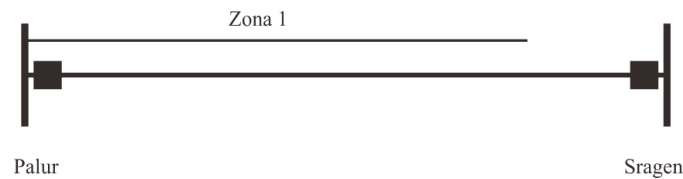
$$Z_3 = 1,2 \times (Z_{L1} + Z_{L2}) \quad (3)$$

Dengan :

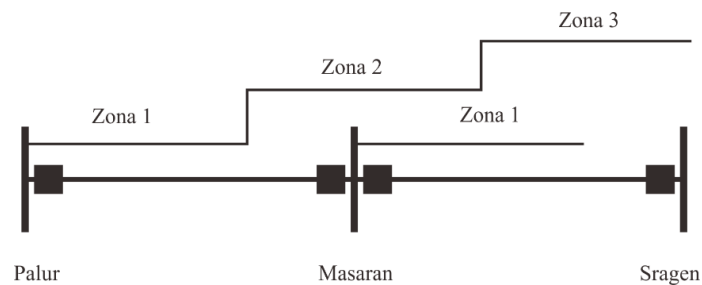
$Z_{L1}$  = Impedansi saluran transmisi Palur-Masaran ( $\Omega$ )

$Z_{L2}$  = Impedansi saluran transmisi Masaran-Sragen ( $\Omega$ )

*Time Delay* = 1,6 detik



Gambar 2. Klasifikasi zona proteksi rele jarak Palur-Sragen sebelum perubahan konfigurasi



Gambar 3. Klasifikasi zona proteksi rele jarak Palur-Masaran-Sragen setelah perubahan konfigurasi

Rele jarak pada saluran transmisi 150kV Gardu Induk Palur-Masaran memiliki *setting* 3 zona karena setelah Gardu Induk 150kV Masaran masih ada saluran transmisi menuju Gardu Induk 150kV Sragen, berbeda dengan rele jarak yang terpasang pada saluran transmisi 150kV Masaran-Sragen yang hanya memiliki *setting* 1 zona karena Gardu Induk 150kV Sragen merupakan Gardu Induk radial jadi penyaluran transmisinya langsung menuju Gardu Induk Distribusi.

Tabel 2. Spesifikasi rele jarak yang terpasang

Nama	Uraian	Satuan
ALSTOM	AREVA P443	-
Tipe	MiCOM	-
Arus nominal	1/5	Ampere
Tegangan nominal	100-120	Volt
Tegangan DC	110-250	Volt
Frekuensi	50/60	Hertz

Spesifikasi rele jarak yang terpasang pada saluran transmisi 150kV Gardu Induk Palur-Masaran dan Gardu Induk 150kV Masaran-Sragen memiliki tipe spesifikasi yang sama, yaitu ALSTOM AREVA P443 tipe MiCOM. Spesifikasi lengkap rele jarak yang terpasang tersebut ditunjukkan pada tabel 2.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini berupa nilai impedansi *setting* rele jarak untuk area 1, area 2, dan area 3 pada saluran transmisi Gardu Induk 150kV Palur-Masaran dan Gardu Induk 150kV Masaran-Sragen, hasil gangguan satu fasa ke tanah, gangguan 2 fasa, dan gangguan 3 fasa, dan menentukan letak gangguan. Rele jarak yang digunakan mempunyai sifat karakteristik Mho.

#### 3.1 Data Penelitian

Berikut data-data yang diperoleh dari PT.PLN (Persero) Gardu Induk 150kV Palur, Masaran, dan Sragen dan studi literatur, yang terdiri dari :

- Gambar *single line diagram* sistem transmisi Gardu Induk 150kV Palur-Masaran dan Gardu Induk 150kV Masaran-Sragen
- Data rasio trafo arus (CT) dan trafo tegangan (PT)

Tabel 3. Rasio trafo arus (CT) dan trafo tegangan (PT)

Saluran transmsi	Trafo arus (CT)	Trafo tegangan (PT)
Palur-Masaran	600 / 1	1500 / 1
Masaran-Sragen	800 / 1	1500 / 1

- Data kabel penghantar

Tabel 4. Spesifikasi kabel penghantar Palur-Masaran

Item	Uraian	Satuan
Tipe konduktor	ACSR	-
Jenis konduktor	HAWK 240/40	-
Panjang penghantar	12,275	Km
Diameter	21,9	mm
Kapasitas arus	638	A
Impedansi	0,0549+j0,1585	$\Omega$ /Km

Tabel 5. Spesifikasi kabel penghantar Masaran-Sragen

Item	Uraian	Satuan
Tipe konduktor	ACSR	-
Jenis konduktor	HAWK 240/40	-
Panjang penghantar	10,84	Km
Diameter	21,9	Mm
Kapasitas arus	638	A
Impedansi	0,0732+j0,2114	$\Omega$ /Km

d. Data *setting* rele jarak saluran transmisi Palur-Masaran dan Masaran-Sragen

Tabel 6. Nilai impedansi urutan positif, negatif, dan nol

Impedansi	Saluran transmisi	
	Palur-Masaran	Masaran-Sragen
Impedansi urutan positif	$1,682 + j4,868$	$0,137+j0,3966$
Impedansi urutan negatif	$1,493 + j4,322$	$0,137+j0,3966$
Impedansi urutan nol	$0,287 + j1,19$	$0,287+j1,19$

Tabel 7. Nilai *setting* rele jarak

Area	Saluran transmisi	
	Palur-Masaran	Masaran-Sragen
Area 1	$0,5392 + j1,5572$	$0,6351+j1,8341$
Area 2	$0,9224 + j2,6638$	-
Area 3	$1,5271 + j4,4101$	-

### 3.2 Perhitungan Impedansi

Perhitungan nilai impedansi sepanjang sistem transmisi Gardu Induk 150kV Palur-Masaran-Sragen menggunakan persamaan di bawah ini :

$$Z_L = \text{Panjang Saluran} \times Z_{\text{saluran}} \text{ per km} \quad (4)$$

Nilai impedansi sistem transmisi Gardu Induk 150KV Palur-Masaran :

$$\begin{aligned} Z_{L_{\text{palur}}} &= 12,275 \times (0,0549+j0,1585) \\ &= 0,6738 + j1,9455 \Omega \end{aligned}$$

Nilai impedansi sistem transmisi Gardu Induk 150KV Masaran-Sragen :

$$\begin{aligned} Z_{L_{\text{Masaran}}} &= 10,84 \times (0,0732 + j0,2114) \\ &= 0,7934 + j2,2915 \, \Omega \end{aligned}$$

Perhitungan nilai impedansi area 1, area 2, dan area 3 berdasarkan persamaan 1,2,dan 3 pada saluran transmisi Gardu Induk 150kV Palur-Masaran-Sragen :

#### 3.2.1 Nilai Impedansi Area 1

$$\begin{aligned} Z_1 &= 0,8 \times (0,6738 + j1,9455) \\ &= 0,539 + j1,5564 \, \Omega \end{aligned}$$

Dengan jangkauan perlindungan :  $0,8 \times 12,275 = 9,82 \, \text{km}$

#### 3.2.2 Nilai Impedansi Area 2

$$\begin{aligned} Z_2 &= 0,8 \times ((0,6738 + j1,9455) + (0,8 \times (0,7934 + j2,2915))) \\ &= 1,0468 + j3,0229 \, \Omega \end{aligned}$$

Dengan jangkauan perlindungan :  $0,8 \times (12,275 + (0,8 \times 10,84)) = 16,7576 \, \text{km}$

#### 3.2.3 Nilai Impedansi Area 3

$$\begin{aligned} Z_3 &= 1,2 \times ((0,6738 + j1,9455) + (0,7934 + j2,2915)) \\ &= 1,7606 + j5,0844 \, \Omega \end{aligned}$$

Dengan jangkauan perlindungan :  $1,2 \times (12,275 + 10,84) = 27,738 \, \text{km}$

Perhitungan nilai impedansi berdasarkan persamaan 1 pada saluran transmisi Gardu Induk 150kV Masaran-Sragen :

#### 3.2.4 Nilai Impedansi Area 1

$$\begin{aligned} Z_1 &= 0,8 \times (0,7934 + j2,2915) \\ &= 0,6347 + j1,8332 \, \Omega \end{aligned}$$

Dengan jangkauan perlindungan :  $0,8 \times 10,84 = 8,672 \, \text{km}$

### 3.3 Impedansi yang dilihat oleh Rele

Nilai impedansi yang dilihat oleh rele berada dalam skala kecil karena mengikuti rasio PT dan CT trafo. Bentuk persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Z_{\text{rele}} = n \times Z_{\text{area}} \quad (5)$$

$$n = \frac{PT}{CT} \quad (6)$$

Dari persamaan 6, didapatkan nilai  $n$  untuk saluran transmisi 150kV Gardu Induk Palur-Masaran adalah  $\frac{1/1500}{1/600} = 0,4$

#### 3.3.1 Impedansi yang dilihat rele Area 1

$$\begin{aligned} Z_{1\text{sekunder}} &= 0,4 \times (0,539 + j1,5564) \\ &= 0,2156 + j0,6225 \, \Omega \end{aligned}$$

### 3.3.2 Impedansi yang dilihat rele Area 2

$$\begin{aligned} Z_{2\text{sekunder}} &= 0,4 \times (1,0468 + j3,0229) \\ &= 0,4187 + j1,2091 \, \Omega \end{aligned}$$

### 3.3.3 Impedansi yang dilihat rele Area 3

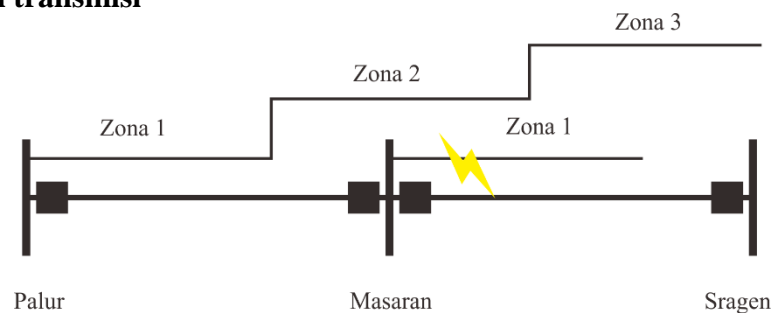
$$\begin{aligned} Z_{3\text{sekunder}} &= 0,4 \times (1,7606 + j5,0844) \\ &= 0,7042 + j2,0337 \, \Omega \end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai  $n$  saluran transmisi 150kV Gardu Induk Masaran-Sragen menggunakan persamaan 6 didapatkan nilai  $\frac{1/1500}{1/800} = 0,54$

### 3.3.4 Impedansi yang dilihat rele Area 1

$$\begin{aligned} Z_{1\text{sekunder}} &= 0,54 \times (0,6347 + j1,8332) \\ &= 0,3427 + j0,9899 \, \Omega \end{aligned}$$

## 3.4 Gangguan sistem transmisi



Gambar 4. Anomali atau gangguan pada sistem transmisi

Rele jarak akan bekerja apabila mendeteksi gangguan atau anomali pada suatu titik di saluran transmisi. Hal ini bisa dihitung dengan beberapa persamaan, seperti gangguan 1 fasa ke tanah, gangguan 2 fasa, dan gangguan 3 fasa, dimana persamaannya dituliskan sebagai berikut :

#### a. Gangguan 1 fasa ke tanah

$$I = 3 \times \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (7)$$

#### b. Gangguan 2 fasa

$$I = \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (8)$$

#### c. Gangguan 3 fasa

$$I = \frac{kV/\sqrt{3}}{Z_1} \quad (9)$$

#### d. Tegangan gangguan

$$V = I \times Z_I \quad (10)$$

Dengan :  $I$  = Arus Gangguan  
 $Z_1$  = Impedansi Urutan Positif  
 $Z_2$  = Impedansi Urutan Negatif  
 $Z_0$  = Impedansi Nol  
 $Z_f$  = Impedansi Gangguan  
 $V$  = Tegangan Gangguan

Gambar 4 menunjukan contoh sistem transmisi yang mengalami anomali atau gangguan. Misal pada gambar 4 menunjukkan impedansi gangguan sebesar  $10 \Omega$ , maka menghitung nilai gangguan yang terjadi adalah sebagai berikut :

### 3.4.1 Gangguan yang terdeteksi pada rele jarak saluran transmisi 150kV Gardu Induk Palur-Masaran

#### a. Gangguan 1 fasa ke tanah

Arus gangguan

$$I = 3 \times \frac{1500000/\sqrt{3}}{(1,682 + j4,868) + (1,493 + j4,322) + (0,287 + j1,19) + (3 \times 10)}$$

$$= 3 \times \frac{86602,54}{33,462 + j10,38} = 7082,71 - j2197,07 \text{ A}$$

Tegangan gangguan

$$V = (7082,71 - j2197,07) \times (1,682 + j4,868)$$

$$= 22608,45 + j30783,16 \text{ V}$$

#### b. Gangguan 2 fasa

Arus gangguan

$$I = \frac{1500000/\sqrt{3}}{(1,682 + j4,868) + (1,493 + j4,322) + (10)}$$

$$= \frac{86602,54}{33,175 + j9,19} = 4421,806 - j3084,35 \text{ A}$$

Tegangan gangguan

$$V = (4421,806 - j3084,35) \times (1,682 + j4,868)$$

$$= 22452,12 + j16337,46 \text{ V}$$

#### c. Gangguan 3 fasa

Arus gangguan

$$I = \frac{1500000/\sqrt{3}}{(1,682 + j4,868)}$$

$$= \frac{86602,54}{(1,682 + j4,868)} = 5491,309 - j15892,801 \text{ A}$$

Tegangan gangguan

$$\begin{aligned} V &= (5491,309 - j15892,801) \times (1,682 + j4,868) \\ &= 86602,53 + j0,002612 \text{ V} \end{aligned}$$

### 3.4.2 Gangguan yang terdeteksi pada rele jarak saluran transmisi 150kV Gardu Induk Masaran-Sragen

#### a. Gangguan 1 fasa ke tanah

Arus gangguan

$$\begin{aligned} I &= 3 \times \frac{1500000/\sqrt{3}}{(0,137+j0,3966)+(0,137+j0,3966)+(0,287+j1,19)+(3 \times 10)} \\ &= 3 \times \frac{86602,54}{30,561+j1,983} = 8465,63 - j549,36 \text{ A} \end{aligned}$$

Tegangan gangguan

$$\begin{aligned} V &= (8465,63 - j549,36) \times (0,137 + j0,3966) \\ &= 1377,66 + j3282,20 \text{ V} \end{aligned}$$

#### b. Gangguan 2 fasa

Arus gangguan

$$\begin{aligned} I &= \frac{1500000/\sqrt{3}}{(0,137+j0,3966)+(0,137+j0,3966)+(10)} \\ &= \frac{86602,54}{10,274+j0,7932} = 8379,34 - j646,924 \text{ A} \end{aligned}$$

Tegangan gangguan

$$\begin{aligned} V &= (8379,34 - j646,924) \times (0,137 + j0,3966) \\ &= 1404,54 + j3234,61 \text{ V} \end{aligned}$$

#### c. Gangguan 3 fasa

Arus gangguan

$$\begin{aligned} I &= \frac{1500000/\sqrt{3}}{(0,137+j0,3966)} \\ &= \frac{86602,54}{(0,137+j0,3966)} = 67389,01 - j195083,82 \text{ A} \end{aligned}$$

Tegangan gangguan

$$\begin{aligned} V &= (67389,01 - j195083,82) \times (0,137 + j0,3966) \\ &= 86602,53 + j0,003146 \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas merupakan hasil perhitungan arus gangguan dan tegangan gangguan pada nilai impedansi gangguan 10  $\Omega$ . Nilai impedansi gangguan yang berbeda maka menghasilkan nilai perhitungan yang berbeda.

### 3.5 Menentukan Letak Gangguan

Rele jarak akan membaca impedansi gangguan ketika dalam saluran transmisi terjadi anomali atau gangguan. Dengan cara ini dapat diketahui seberapa jauh letak gangguan terjadi. Persamaan untuk menentukan letak gangguan rele jarak :

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{\text{impedansi gangguan} \times \frac{PT}{CT} \times L1}{ZL1} \quad (11)$$

Contoh menentukan jarak gangguan dengan nilai impedansi 0,5  $\Omega$  sampai 2,5  $\Omega$  pada rele jarak saluran transmisi 150kV Gardu Induk Palur-Masaran :

a. Nilai impedansi 0,5  $\Omega$

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{0,5 \times \frac{1/1500}{1/600} \times 12,275}{0,6738 + j1,9455} = 1,19 \text{ km}$$

b. Nilai impedansi 1  $\Omega$

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{1 \times \frac{1/1500}{1/600} \times 12,275}{0,6738 + j1,9455} = 2,38 \text{ km}$$

Contoh menentukan jarak gangguan dengan nilai impedansi 0,5  $\Omega$  sampai 2,5  $\Omega$  pada rele jarak saluran transmisi 150kV Gardu Induk Masaran-Sragen :

a. Nilai impedansi 0,5  $\Omega$

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{0,5 \times \frac{1/1500}{1/800} \times 10,84}{0,7934 + j2,2915} = 1,2 \text{ km}$$

b. Nilai impedansi 1  $\Omega$

$$\text{Jarak gangguan} = \frac{1 \times \frac{1/1500}{1/800} \times 10,84}{0,7934 + j2,2915} = 2,41 \text{ km}$$

Tabel 8. Letak gangguan dengan nilai impedansi 0,5  $\Omega$  hingga 2,5  $\Omega$  pada rele jarak saluran transmisi 150kV Gardu Induk Palur-Masaran dan Masaran-Sragen

Nilai Impedansi Gangguan	Letak gangguan saluran transmisi 150kV Palur-Masaran	Letak gangguan saluran transmisi 150kV Masaran-Sragen
0,5 $\Omega$	1,19 km	1,2 km
1 $\Omega$	2,38 km	2,41 km
1,5 $\Omega$	3,57 km	3,62 km
2 $\Omega$	4,76 km	4,82 km
2,5 $\Omega$	5,96 km	6,03 km



### 3.6 Analisa Hasil

Hasil dari perhitungan persamaan diatas didapatkan sebuah selisih hasil antara nilai *setting* awal rele jarak dengan perhitungan berdasar literatur yang didapat. pada saluran transmisi 150kV Gardu Induk Palur-Masaran menunjukkan adanya selisih nilai *setting* pada semua *backup zone* rele jarak.

Tabel 9. Selisih nilai *setting* rele jarak saluran transmisi 150kV Gardu Induk Palur-Masaran

Rele jarak	Setting awal	Hasil perhitungan	Selisih
Area 1	1,64 $\Omega$	1,64 $\Omega$	-
Area 2	2,81 $\Omega$	3,19 $\Omega$	0,38 $\Omega$
Area 3	4,66 $\Omega$	5,38 $\Omega$	0,72 $\Omega$

Perbedaan antara nilai *setting* awal dan hasil perhitungan ini sendiri terjadi karena *setting* awal yang digunakan PT. PLN (Persero) menggunakan rumus  $Z_{2min}$  yaitu  $1,2 \times Z_{Palur}$  pada perhitungan area 2 dan  $Z_{3min}$  yaitu  $1,2 \times (Z_{Palur} + (0,8 \times Z_{Masaran}))$  pada perhitungan area 3. Perbedaan rumus ini juga menghasilkan beda jangkauan proteksi pada area 2 dan area 3, dimana pada *setting* awal area 2 didapatkan jangkauan proteksi sejauh 14,73 Km, sedangkan berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai jangkauan proteksi sejauh 16,76 Km. Pada area 3 menghasilkan perbedaan jangkauan proteksi dimana *setting* awal memiliki jangkauan proteksi 25,13 Km, sedangkan pada hasil perhitungan didapatkan jangkauan proteksi sejauh 27,73 Km. Perbedaan hasil tersebut karena pada *setting* awal menggunakan perhitungan rumus dengan jangkauan paling kecil yang dapat diperoleh dari pengaturan rele jarak, sedangkan pada hasil perhitungan menggunakan rumus dengan jangkauan paling panjang yang dapat diperoleh dari pengaturan rele jarak, namun pada kedua hasil ini masih tetap masuk kriteria atau tidak *over reaching* berdasarkan tabel 1. Sedangkan untuk nilai *setting* rele jarak saluran transmisi 150kV Masaran-Sragen menunjukkan selisih yang sangat kecil pada pengaman utama dikarenakan perbedaan pembulatan bilangan.

Tabel 10. Selisih nilai *setting* rele jarak saluran transmisi 150kV Gardu Induk Masran-Sragen

Rele jarak	Setting awal	Hasil perhitungan	Selisih
Area 1	1,94 $\Omega$	1,93 $\Omega$	0,01 $\Omega$

Selisih antara nilai awal dengan hasil perhitungan tidak menunjukkan adanya perbedaan yang terlalu jauh, sehingga rele jarak yang terpasang masih berkerja secara optimal sesuai dengan teori.

Perbedaan nilai itu sendiri dapat terjadi karena beberapa faktor seperti tahanan gangguan, kondisi lapangan, *human error*, dan faktor *infeed*.

#### **4. PENUTUP**

Kesimpulan dari penelitian pengaruh perubahan konfigurasi saluran transmisi Palur-Masaran-Sragen terhadap *setting* rele jarak adalah sebagai berikut :

- a. *Setting* 1 area (zona) pada rele jarak saluran transmisi 150kV Gardu Induk Masaran-Sragen membuat tidak adanya *backup zone* pada *setting* rele jarak yang terpasang
- b. Terdapat selisih nilai *setting* awal dengan hasil perhitungan berdasarkan literatur yang didapat
- c. Penentuan letak gangguan dengan beberapa nilai impedansi yang berbeda pada 2 rele jarak yang terpasang pada saluran yang berbeda menunjukkan adanya keserempakan letak gangguan terjadi.
- d. Selisih hasil nilai *setting* awal dengan hasil perhitungan sangat kecil, sehingga menunjukkan rele yang bekerja sudah sesuai dengan teori.

#### **PERSANTUNAN**

Dalam penyusunan laporan penelitian ini penulis membutuhkan bantuan orang lain, banyak pihak yang membantu dalam bentuk saran dan motivasi agar terselesainya laporan penelitian ini. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan nikmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini
2. Nabi Muhammad SAW atas do'a serta segala ilmu dan amalan yang telah beliau ajarkan untuk semua umatnya, penulis dapat menyelesaikan laporan ini
3. Ayah dan ibu tercinta atas kepedulian, dukungan, dan do'a yang selalu di berikan kepada penulis untuk menyelesaikan laporan ini
4. Adik tersayang yang selalu bisa menghibur ketika penulis merasa lelah
5. Bapak Aris Budiman, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu penulis dalam memberikan arahan dan motivasi untuk menyelesaikan laporan ini
6. Bapak Umar, S.T., M.T. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang membantu penulis dalam pengerjaan laporan ini
7. Semua dosen Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta atas ilmu yang telah diberikan
8. Mantan supervisor Gardu Induk 150kV Palur bapak Yusron yang telah memberikan arahan

9. Operator jaringan Gardu Induk 150kV Palur mas rio, mas gilang, dan mas rafsan yang telah memberikan masukan kepada penulis
10. Teman Teknik Elektro angkatan 2015 yang mengagumkan, seperti ahmad, robani, rifa'i, malik, dan semuanya atas segala kenangan bersama dalam proses pembelajaran selama ini

## DAFTAR PUSTAKA

- F. Sleva, Anthony (2009). *Protective Relay Principles*. Taylor & Francis Group, LLC. Hal 2
- H, Berkat. S.P., Windarta, Jaka, dan Moch Facta. (2017). *Analisis Setting dan Koordinasi Rele Jarak Pada Saluran 150kV Tanjung Jati – Kudus*. Teknik Elektro. Universitas Diponegoro, Semarang. Indonesia
- Huda, Ilham F. (2018). *Analisis Penggunaan Rele Jarak Sebagai Proteksi Pada Sistem Transmisi dari Gardu Induk 150kV Gondang Rejo – Jajar*. Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta. Indonesia
- Izykowski, J. (2008). *Fault Location on Power Transmission Line*. Faculty of Electrical Engineering. Ofycina Wydaenieza Politechniki Wroclawskiej, Wroclaw. Poland
- M. J. Thompson and D. L. Hiedfeld. (2015). *Transmission Line Setting Calculations-Beyond the Cookbook*. Protection Relay Eng. 2015 68<sup>th</sup> Annu. Conf. pp. 850-865
- Nugraha, Rully. (2010). *Analisis Perhitungan Rele Jarak Pada SUTT 150kV Cigalereng-Lagadar*. Teknik Elektro. Institut Teknologi Nasional, Bandung. Indonesia
- Ojaghi, M. (2013). *The Implementation Technique To Optimal Coordination of Relay*. IEEE Trans. 235,244
- PT. PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Dokumen: PDM/SGI/15:2014. Jakarta. Indonesia
- R. Ghaffarpour, F. Razavi, and A. A. Ghadimi (2014). *A New Approach to Adaptive Setting of Distance Relays Using Setting-Group Function*. Department of Electrical Engineering. Islamic Azad University, Ashitian. Iran
- Syafar, A. Muhammad. (2010). *Studi Keandalan Distance Relay Jaringan 150kV GI Tello – GI ParePare*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Islam Makasar, Makasar. Indonesia